



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09097830 A**(43) Date of publication of application: **08 . 04 . 97**

(51) Int. Cl.

H01L 21/68
B23Q 3/15
C23C 14/50
C30B 25/12
H01L 21/205
H01L 21/285
H01L 21/31
H02N 13/00

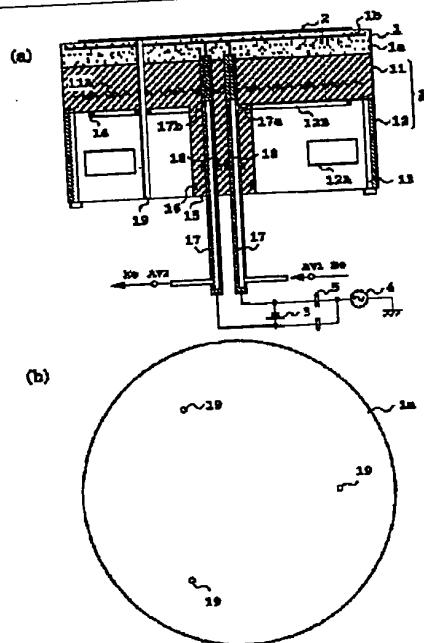
(21) Application number: **08136562**(22) Date of filing: **30 . 05 . 96**(30) Priority: **21 . 07 . 95 JP 07185269**(71) Applicant: **FUJI ELECTRIC CO LTD TOKYO
ELECTRON LTD**(72) Inventor: **SHIMIZU AKIO
KOGUCHI MAKOTO
SAKAKIBARA YASUSHI
KATAGIRI GENICHI
KAWAMURA GOHEI**(54) **ELECTROSTATIC CHUCK HOLDER, WAFER
HOLDING MECHANISM AND USING METHOD
THEREOF**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance efficiency in the heating and cooling of wafer at the time of deposition and to sustain the temperature of an electrostatic chuck holder at high level at the time of plasma screening by differentiating the heat transmission efficiency between an electrostatic chuck and the cooling body of electrostatic chuck holder at the time of deposition and plasma screening.

SOLUTION: The wafer holding mechanism has a laminar gas injection space extending in parallel with the wafer holding face of an electrostatic chuck. More specifically, the gas injection space 12B is defined by the upper surface of a cooling block 12 on the electrostatic chuck 1 side and the lower surface of an insulating plate 11 incorporating a heater 11A.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-97830

(43) 公開日 平成9年(1997)4月8日

| (51) Int.Cl. ⁸ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|--------|----------------|--------|
| H 0 1 L 21/68 | | | H 0 1 L 21/68 | R |
| B 2 3 Q 3/15 | | | B 2 3 Q 3/15 | D |
| C 2 3 C 14/50 | | | C 2 3 C 14/50 | D |
| C 3 0 B 25/12 | | | C 3 0 B 25/12 | |
| H 0 1 L 21/205 | | | H 0 1 L 21/205 | |

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平8-136562

(22) 出願日 平成8年(1996)5月30日

(31) 優先権主張番号 特願平7-185269

(32) 優先日 平7(1995)7月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 清水 明夫

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 虎口 信

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

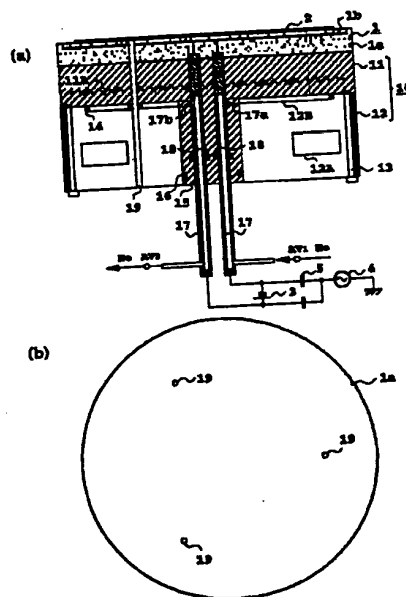
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電チャックホルダ、ウエハ保持機構ならびにその使用方法

(57) 【要約】

【課題】 成膜時とプラズマクリーニング時とで静電チャックと静電チャックホルダの冷却体との間の熱伝達効率を可変とし、成膜時にはウエハの加熱、冷却の効率を高め、プラズマクリーニング時には静電チャックホルダの温度を高く維持することを可能とする。

【解決手段】 ウエハ保持機構は、静電チャックのウエハ保持面と平行な層状のガス注入空間を備えたものとする。具体的には、ガス注入空間12Bを、冷却用ブロック12の静電チャック1側の上面と絶縁板11の下面とで形成し、絶縁板11にヒータ11Aを内蔵させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックを保持する静電チャックホルダであって、該静電チャックホルダは、金属ブロックとその上に結合されヒータを内蔵する絶縁板とを有し、前記絶縁板と前記金属ブロックの表面との間に前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間が形成されていることを特徴とする静電チャックホルダ。

【請求項2】 誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックと、該静電チャックが固定された静電チャックホルダとを有するウエハ保持機構であって、該ウエハ保持機構は前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間を内部に備えていることを特徴とするウエハ保持機構。

【請求項3】 前記ガス注入空間の熱伝達効率を少なくとも2段階に調節する手段をさらに有することを特徴とする請求項2に記載のウエハ保持機構。

【請求項4】 前記静電チャックホルダが前記静電チャックの温度調節のための流体が内部に流通する金属ブロックを有し、前記ガス注入空間が該金属ブロックの静電チャック側に位置していることを特徴とする請求項2または3に記載のウエハ保持機構。

【請求項5】 前記静電チャックホルダが、前記金属ブロックと前記静電チャックとの間に前記静電チャックの誘電体とは別体の絶縁板を有し、前記ガス注入空間は、前記層の底面が前記金属ブロックの静電チャック側の端面で形成され、前記層の天井面が前記絶縁板の下面で形成されていることを特徴とする請求項4に記載のウエハ保持機構。

【請求項6】 前記絶縁板にヒータが内蔵されていることを特徴とする請求項5に記載のウエハ保持機構。

【請求項7】 前記絶縁板は、その上面側で前記静電チャックの誘電体と接着材によって一体化されていることを特徴とする請求項5または6に記載のウエハ保持機構。

【請求項8】 前記絶縁板は、その両面間の絶縁抵抗が、静電チャックホルダの使用温度範囲において100MΩ以上であることを特徴とする請求項5から7のいずれかに記載のウエハ保持機構。

【請求項9】 前記絶縁板がA1Nからなることを特徴とする請求項5から8のいずれかに記載のウエハ保持機構。

【請求項10】 前記絶縁板に内蔵させるヒータは、前記静電チャックの誘電体内の吸着電極との間の静電容量

が1000pF以下となるように内蔵されていることを特徴とする請求項6から9のいずれかに記載のウエハ保持機構。

【請求項11】 前記静電チャックの誘電体の材質がA1Nであり、共にA1Nである前記絶縁体と該誘電体とが一体化されていることを特徴とする請求項9または10に記載のウエハ保持機構。

【請求項12】 前記A1Nの体積固有抵抗が静電チャックの使用温度範囲で $2 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \text{cm}$ であることを特徴とする請求項11に記載のウエハ保持機構。

【請求項13】 A1Nからなる誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックに発熱体が埋め込まれており、該静電チャックとこの静電チャックを固定する金属ブロックとの間に、前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間が形成されていることを特徴とするウエハ保持機構。

【請求項14】 前記ガス注入空間は、前記金属ブロックの表面に形成された凹部と前記静電チャックのウエハ保持面と反対側の面とによって形成されていることを特徴とする請求項13に記載のウエハ保持機構。

【請求項15】 請求項2から14のいずれかに記載のウエハ保持機構の使用方法であって、前記ガス注入空間のガス圧力を変化させることによって、該ガス注入空間の熱伝達効率を制御することを特徴とするウエハ保持機構の使用方法。

【請求項16】 前記ガス注入空間のガス圧力を1500 Torr以下の範囲のガス圧力で変化させて前記ガス注入空間の熱伝達効率を調節することを特徴とする請求項15に記載のウエハ保持機構の使用方法。

【請求項17】 前記ガス注入空間に注入するガスがHeであることを特徴とする請求項15または16に記載のウエハ保持機構の使用方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体集積回路、特に微細加工によるLSI製造時に、被処理半導体ウエハを吸着した静電チャックを、成膜処理中、製造装置内に保持する静電チャックホルダおよび被処理半導体ウエハを成膜処理中保持するウエハ保持機構の構造ならびにその使用方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、微細加工によるLSI製造のため、高速処理の可能な高密度プラズマCVD装置の適用が進んでいる。高密度のプラズマCVD装置は、成膜原料ガスをプラズマ化する高密度プラズマ生成部と、被処理半導体ウエハを設置する基板台（またはウエハ保持機

構) からなる。成膜原料ガスを高密度にプラズマ化するのに、マイクロ波や高周波の誘導プラズマ源が用いられる。このような高密度プラズマCVD装置は、半導体ウエハを1枚づつ処理する、いわゆる枚葉処理装置であり、プロセス中に発生する多量の熱(2~3 kW)によって加熱されるウエハを冷却する目的で、ウエハの保持には、通常冷却可能な静電チャックが用いられる。静電チャックに半導体ウエハを吸着させ、半導体ウエハを吸着した静電チャックが静電チャックホルダに固定される。従って、上述した基板台は静電チャックと静電チャックホルダとで構成されている。

【0003】静電チャックは、すでに周知のように、例えば円板状の誘電体中に、かつその誘電体の両面と平行な同一平面内に1対の箔状あるいは膜状の吸着電極を内蔵したもので、この1対の吸着電極をそれぞれ直流電源の両極に接続することにより、半導体ウエハに誘電体の表面に密着状態に吸着することができる。この1対の吸着電極は、通常、さらに、プラズマCVD装置本体の外部に設けられた、発生周波数が400 kHzないし13.56 MHzの高周波電源から並列に高周波電力が供給され、処理中半導体ウエハを内包する真空容器に対し、半導体ウエハの表面に負極性の電位が生じさせられる。この負極性電位により、プラズマ中のイオンが加速されてウエハ表面に衝突する。このイオンは、ウエハ表面の膜を緻密化しつつ自らも膜形成に寄与する。

【0004】このような構成と機能をもつ静電チャックを装置本体の真空容器内に保持する静電チャックホルダの、従来の互いに異なる構造例をそれぞれ図8および図9に示す。図8はプロセス中に発生する熱が少ない、RFバイアス値が数100 W程度の場合である。静電チャックホルダ21はアルミニウム等からなる金属ブロック22に、アルミニウムなどの鋳塊中にシースヒータ等の発熱体23Aを埋め込んでなるヒータ23を固定して構成され、ヒータ23上に静電チャック24が保持されている。静電チャック24は誘電体24に1対の吸着電極24Bが埋め込まれてなり、ウエハ25を吸着する。成膜に際し、予め発熱体23Aに通電して静電チャック24を加熱することによりウエハ25を所定の温度に上げておき、成膜開始とともにウエハに入射するプラズマによるウエハ25の温度上昇を抑えるためにヒータ23への加熱入力を減らしたときに、ウエハ25から静電チャック24へ流入したプラズマの熱がヒータ23を通過して金属ブロック22に吸収される。従って、図8の構造の静電チャックホルダは、静電チャックを加熱および冷却する加熱・冷却体として機能する。

【0005】これに対して、図9の静電チャックホルダ31はアルミニウム等の金属ブロック32からなり、その内部に媒熱流体を流通させる流路32Aが形成されており、ここに温媒体が送り込まれる。誘電体33A内

に1対の吸着電極33Bおよびこの吸着電極に近接して板状あるいは箔状の発熱体34が埋め込まれてなる静電チャック33は静電チャックホルダの金属ブロック32により直接保持されている。発熱体34は成膜開始前の予備加熱時間の短縮のために設けられ、成膜開始前にはウエハ35を予め所定の温度に上昇させる。成膜時には発熱体への入力を減らし、ウエハの熱は金属ブロックに吸収される。従って、図9の静電チャックホルダ31は、成膜開始後のプラズマ入射中、静電チャック33を冷却する冷却体としてのみ機能する。

【0006】上記図8、図9のいずれの構造においても、成膜開始後にウエハに入射したプラズマの熱を効率よく静電チャックホルダの金属ブロックに伝達させるため、ウエハと静電チャックの間にHeを10~20 Torrの圧力に封入する方法がとられていた。ウエハは平坦に仕上げられた静電チャック誘電体の表面に全面密着状態に吸着されるので、Heを誘電体表面の微視的凹凸に導いてウエハと誘電体表面との間の空間をHeで埋めてもHeの洩れは実質上無視できるほど小さく、また洩れた分は成膜原料ガスとともにウエハの下流側へ流れ、かつHeが不活性ガスであることから、仮に上流側へ拡散されることがあっても膜質に影響することがなく、He封入方式が従来広く採用されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】CVD装置では、成膜を続けると装置本体の真空容器内壁面のほか、半導体ウエハの外側の静電チャック表面にも膜が付着するので、成膜中のパーティクル汚染を防止するために真空容器内のプラズマクリーニングが行われる。プラズマクリーニングは、例えばNF₃のプラズマを生成してフッ素イオンまたはラジカルによって真空容器内に付着したSiO₂を除去する方法である。プラズマクリーニングの速度は真空容器内の部位によって異なり、静電チャック表面のクリーニング速度が最も遅いため、クリーニング速度を短縮するためには静電チャックの昇温が必要となる(例えば、特願平6-310588号公報参照)。これはクリーニング速度が絶対温度の指数関数に比例し、絶対温度T₁とT₂とではクリーニング速度比がexp(T₁/T₂)となり、仮にT₁=(273+250) K、T₂=(273+150) Kとすると、クリーニング速度比は3.4、T₁=(273+350) K、T₂=(273+150) Kではクリーニング速度比は4.4となり、クリーニング速度への温度効果が顕著であることによる。このため、プラズマクリーニングに際しては、成膜開始時にウエハの昇温に用いる静電チャックホルダのヒータ、あるいは静電チャック内蔵の発熱体に通電して静電チャックの表面を昇温させることになるが、クリーニングガスプラズマの入射による熱は効率よく静電チャックホルダの金属ブロックに流入してしま

い静電チャックの温度上昇に寄与しないため、温度上昇

値に限界が生じ、所望温度まで上昇させることができないという問題があった。

【0008】本発明の目的は、成膜時にはウエハから静電チャックホルダの金属ブロックへの熱伝達がよく、従ってプラズマ入射下でウエハ温度を所定の温度範囲に保持することが可能であり、かつプラズマクリーニング時にはウエハから静電チャックホルダの金属ブロックへの熱伝達を低くして静電チャックの温度をその表面のクリーニング速度が真空容器内のほかの部位と同等となるまで上昇させることができるウエハ保持機構およびその使用方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明による静電チャックホルダは、誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックを保持する静電チャックホルダであって、該静電チャックホルダは、金属ブロックとその上に結合されヒータを内蔵する絶縁板とを有し、前記絶縁板と前記金属ブロックの表面との間に前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間が形成されている。

【0010】また、本発明によるウエハ保持機構は、誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックと、該静電チャックが固定された静電チャックホルダとを有するウエハ保持機構であって、該ウエハ保持機構は前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間を内部に備えている。

【0011】ここで、前記ガス注入空間の熱伝達効率を少なくとも2段階に調節する手段をさらに有するとよい。

【0012】前記静電チャックホルダが前記静電チャックの温度調節のための流体が内部に流通する金属ブロックを有し、前記ガス注入空間が該金属ブロックの静電チャック側に位置していることが好ましく、さらに、前記静電チャックホルダが、前記金属ブロックと前記静電チャックとの間に前記静電チャックの誘電体とは別体の絶縁板を有し、前記ガス注入空間は、前記層の底面が前記金属ブロックの静電チャック側の端面で形成され、前記層の天井面が前記絶縁板の下面で形成されていることが好ましい。

【0013】前記絶縁板にヒータが内蔵されていることが好ましく、また、前記絶縁板は、その上面側で前記静電チャックの誘電体と接着材によって一体化されていることが好ましい。

【0014】前記絶縁板は、その両面間の絶縁抵抗が、

静電チャックホルダの使用温度範囲において100MΩ以上であるといふ。

【0015】前記絶縁板がAlNからなることは特に好ましい。

【0016】前記絶縁板に内蔵させるヒータは、前記静電チャックの誘電体内の吸着電極との間の静電容量が1000pF以下となるように内蔵されているといふ。好ましくは、前記静電チャックの誘電体の材質がAlNであり、共にAlNである前記絶縁体と該誘電体とが一体化されており、さらに前記AlNの体積固有抵抗が静電チャックの使用温度範囲で $2 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \text{ cm}$ であるといふ。

【0017】また、本発明によるウエハ保持機構は第2の形態によれば、AlNからなる誘電体中に吸着電極が埋め込まれ、この吸着電極を電源に接続して半導体ウエハに前記誘電体を介して静電気力を作用させ、前記誘電体表面に前記半導体ウエハを吸着保持する静電チャックに発熱体が埋め込まれており、該静電チャックとこの静電チャックを固定する金属ブロックとの間に、前記静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間が形成されている。

【0018】ここで、前記ガス注入空間は、前記金属ブロックの表面に形成された凹部と前記静電チャックのウエハ保持面と反対側の面とによって形成されているといふ。さらに、本発明によるウエハ保持機構の使用方法是、上述したウエハ保持機構の使用法であって、前記ガス注入空間のガス圧力を変化させることによって、該ガス注入空間の熱伝達効率を制御することを特徴とする。

【0019】ここで、前記ガス注入空間のガス圧力を1500 Torr以下の範囲のガス圧力で変化させて前記ガス注入空間の熱伝達効率を調節することが好ましく、前記ガス注入空間に注入するガスがHeであることが好ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明によるウエハ保持機構は、その内部にウエハを静電吸着する静電チャックの表面と平行な層状の隙間として形成されたガス注入空間を具え、このガス注入空間に注入されるガスの圧力を制御することによって、静電チャックと冷却体との間の熱伝達率を、成膜時とプラズマクリーニング時とで変化させて制御することが可能なウエハ保持機構である。

【0021】ウエハ保持機構は、静電チャックを、金属ブロックからなる冷却体上に絶縁板を具えた静電チャックホルダに結合した構造でもよく、この場合は上述したガス注入空間は、絶縁板の静電チャックと反対側の面と金属ブロックの表面との間に形成される。また、ウエハ保持機構はヒータを内蔵した静電チャックを金属ブロックからなる静電チャックホルダに結合した構造でもよく、この場合はガス注入空間は静電チャックのウエハ

保持面と反対側の面と金属ブロックの表面との間に形成される。

【0022】詳述すれば、本発明のウエハ保持機構は、静電チャックの加熱または冷却を行うので、上述したガス注入空間は、加熱時と冷却時とで異なった熱伝達効率を持つ必要があり、少なくとも熱伝達効率を2段階に調*

$$Q = \lambda \cdot S (T_1 - T_2) / d$$

で表すことができる。ここで λ はガスの熱伝導率、 S はガス注入空間を横切る熱の通過面積、 T_1 、 T_2 はそれぞれ層状のガス注入空間の両側の物体の温度、 d は層状のガス注入空間の厚みである。従って、熱伝達効率の制御を λ または d の制御によって容易に行うことができる。ガスの熱伝導率 λ はガスの種類によって異なり、例えば、大気圧、150℃において、Heは空気、 N_2 、 O_2 の約5倍、Arの約7.5倍の熱伝導率を有し、 H_2 は、空気、 N_2 、 O_2 の約7倍、Arの約11倍の熱伝導率を有するので、ガスの種類を幅広く選択することによって熱伝達効率を大幅に変えることができる。ガスの熱伝導率は高圧側では圧力による変化が小さいが、低圧側では圧力の減少によって急激に小さくなる。例えば、プラズマクリーニング時にガス注入空間内のガス圧力を1.5 Torrの真空圧とすることにより熱伝導率が大きく低下し、8インチ径ウエハ用静電チャックに仮に300Wの熱流入があったとした場合にも、ガス注入空間の両面間で75℃以上の温度差を得ることができる。その結果、熱流阻止効果が大きく、静電チャックの温度が効果的に上昇し、クリーニング速度が早くなる。従って、このガス注入空間を、例えば真空ポンプを備えた排気装置や、吐出圧力を調整可能なガス供給装置を備えた可変圧力手段に接続することにより、ガス注入空間の熱伝達効率を2段階以上に調整することが可能になる。

【0024】本発明においては、静電チャックホルダ※

$$p \cdot d > 0.6 \text{ Torr}$$

のときに成立する。従って、 $d = 0.1 \text{ mm}$ としたときにはガス圧力は60 Torr以上が必要となる。一方、金属ブロックと絶縁板とによる層状のガス注入空間の形成に際し、絶縁板の反りや工作精度の面から、ガス注入空間中に、 d の値が目標値の1/10程度となる部分が生じ得ることを考慮すると、成膜時(熱の高伝達時)には600 Torr以上のガス圧を必要にすることになる。この圧力は1気圧に近く、この圧力でも熱伝達効率を全面にわたって実質上不変に保つことができるためには、絶縁板の径に見合って厚みを厚くして絶縁板の撓みを抑えなければならない。従って、絶縁板は厚くする必要がある。

【0028】絶縁板にはヒータを内蔵させることができる。ガス注入空間は絶縁板に関して静電チャックと反対の側に位置しているので、このガス注入空間の熱伝達を小さくするとヒータの熱を効果的に静電チャックに向か

* 整可能とする必要がある。ガス注入空間のガスが分子の熱運動によって粘性流を形成しているときには、ガス注入空間を横切る熱量 Q は、

【0023】

【数1】

(1)

※に、静電チャックの温度調節のための流体が内部に流通する金属ブロックを用いる。この金属ブロックの静電チャック側に層状のガス注入空間が位置するので、金属ブロックはウエハ保持機構の端部に位置する構成となり、金属ブロックと流体循環系との接続が容易である。

【0025】層状のガス注入空間は金属ブロックの静電チャック側端面と、静電チャックの誘電体とは別体の絶縁板との間に形成することができる。この場合は絶縁板が静電チャックの誘電体とは別の単体なので取り扱いが容易であり、前出の(1)式における d の所望値の付与や、金属ブロックと絶縁板との間隙を可変にする場合の結合が容易に可能となる。静電チャックを例えば2mmと薄くすると、面の精度は、例えば50 μm 以上と悪くなる。しかし、別体の絶縁板を厚く作れば面精度は向上する。(1)式における d の値は、成膜時の高熱伝達率を目指してできるだけ小さい値がよいので、0.1mm程度が妥当な値である。従って、ガス注入空間を形成する両面の精度が求められるが、薄い静電チャックを用いる場合は、ガス注入空間の形成のために静電チャックの誘電体とは別体の厚い絶縁板を用いるのがよい。

【0026】前述したように、(1)式はガス分子が熱運動により粘性流を形成しているときのガスの熱伝達能を示す式である。この(1)式は、ガス圧力を p としたとき、

【0027】

【数2】

(2)

わせることができる。このヒータは半導体ウエハの成膜処理時の予備加熱と静電チャックのプラズマクリーニングとの両方に用いられる。成膜処理のための予備加熱ではガス注入空間を高熱伝達とし、金属ブロック内を流通する温熱媒体の温度とヒータ加熱とを併用して、成膜開始前に静電チャックの温度を予め所定の温度(150℃～350℃の範囲)に上げておき、例えば成膜開始と同時にヒータ電源を遮断する。成膜中は静電チャックは、高熱伝達効率としたガス注入空間を介して金属ブロックによって冷却されるが、一方、成膜開始後はプラズマ入射による温度上昇があるので、静電チャックの温度の成膜開始以後の時間的変動が小さく、膜の厚み方向の膜質(屈折率、エッチングレート、内部応力等)が均一となり、良質の膜を得ることができる。仮にヒータがなければ、ウエハの成膜は、静電チャックの温度が金属ブロックとほぼ同温度の状態から始まることになり、金属プロ

9
 ックの温度上昇には10分以上かかるので、成膜過程でウエハ温度がなだらかに上昇するため、膜質と成長速度が時間とともに変化してしまうという欠点がある。

【0029】また、絶縁板にヒータを内蔵させると、図9の従来例の場合と異なって、ヒータと静電チャックに内蔵されている吸着電極との距離が離れ、吸着電極へのRFバイアス印加時にヒータに分流するRF電力が小さくなり、ウエハへの電力供給効率が改善される。

【0030】プラズマクリーニング時には静電チャックの温度を高めるためにヒータに通電し、かつガス注入空間の内部を排気して低熱伝達効率とし、ヒータおよびプラズマから静電チャックへ流入する熱量が金属ブロックへ流れないようにする。

【0031】上記絶縁板は静電チャックの誘電体に接着剤で一体化すると良い。接着剤には接着層の熱流抵抗を小さくするためには、銀糊等の低融点金属（融点400℃程度）を用いるのが望ましく、また、プラズマクリーニング時のNF₃に対する耐性がないシリコーン樹脂系の接着剤を用いる場合には周囲にシール構造をとることが好ましい。その場合、接着剤の厚みが20~30μmと薄いので熱抵抗はさして問題にならない。静電チャックの誘電体には通常アルミナが用いられるが、静電チャックを静電チャックホルダの絶縁板に固定するのに接着剤を使用し金具を用いないので、誘電体の割れを防止することができる。

【0032】絶縁板は成膜時に静電チャックに流入した熱が通過するので、材質として、熱伝達率が大きく、かつ熱安定性の高いものを用いるのが望ましい。AlNは熱伝導率が静電チャックの誘電体に通常用いられているAl₂O₃の2倍以上、割れが生じるときの温度差がAl₂O₃の約2倍であり、耐熱衝撃性がAl₂O₃の約4倍と大きい。

【0033】絶縁板にヒータを内蔵させる場合、ヒータと静電チャックの吸着電極との間の静電容量は、両者間の距離のほか、ヒータの構造によっても大きく変化する。高周波電力の周波数が400kHzから13.65MHzの場合、この静電容量が1000pF以下となるようにヒータを内蔵すれば、必要なRFバイアス電位を生じさせるのに必要な正味の高周波電力に対して、高周波電源容量を小さくできるので、経済的な高密度プラズマCVD装置を構成することができる。絶縁体を厚く、例えば1cm以上とすれば、要求を満たすことができる。

【0034】静電チャックの誘電体の材質をAlNとし、絶縁板と静電チャックの誘電体とともにAlNとして一体化すれば、熱膨張係数の異なる材質間の接着信頼性の問題がなくなるので、静電チャックと静電チャックホルダとからなるウエハ保持機構をより高信頼性のものとすることができる。この場合、静電チャックのAlNとAlN絶縁体とを接着によって一体化してもよい

し、あるいは、複数のAlNグリーンシートを積層して焼結することによって、吸着電極とヒータとを内蔵した静電チャックを作ってもよい。後者の場合、全体の厚みを厚く、例えば1cm以上とすれば、静電容量1000pF以下の要求を満たすことができる。

【0035】AlNの体積固有抵抗を $2 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ とすれば、成膜中のウエハの対地絶縁抵抗は100MΩ以上に保たれる。

【0036】本発明のウエハ保持機構の使用法の特徴は、層状のガス注入空間の圧力を成膜工程あるいは使用の目的に合わせて変化させ、ガス注入空間の熱伝達効率を変化させることである。

【0037】その際、ガス注入空間に注入するガスの圧力を1500 Torr以下に保持して、高熱伝達のためには圧力を高く、低熱伝達のためには圧力を低くすれば良い。このような使用方法を採れば、下面が層状のガス注入空間の天井面を形成する絶縁板もしくは静電チャックは、所要の発熱量を有するヒータの埋め込みや、ヒータと静電チャック内の吸着電極との間の静電容量が所望値以下となる埋め込みが可能となる範囲で厚みを薄くしても、反りの大きさが小さく、従って、反りを考慮することなく圧力を変化させて所望の熱伝達効率を得ることができる。また、この圧力範囲内で所望の熱伝達効率を変えることができるので、ウエハ保持機構を高さ方向に小型化できる。使用するガスはHeが好ましい。

【0038】

【実施例】図1に本発明によるウエハ保持機構の一実施例を示す。図1(a)は縦断面図、(b)は上面図である。本実施例は静電チャックと静電チャックホルダとからなり、静電チャックはヒータを内蔵しない、従来通常の静電チャックである。誘電体1aにAl₂O₃を用いた静電チャック1は、1対の吸着電極1b、1bをそれぞれ直流電源3の両極に接続したときに800g/cm²以上の吸着力を有し、ウエハ2と静電チャック1との間の接触熱伝達率を500W/m²・K以上としている。マイクロ波等のプラズマ化エネルギーや吸着電極に供給する高周波電力が大きくなり、成膜時のプラズマ入射によるウエハ2の過度の温度上昇を抑えるためにこれ以上の熱伝達を必要とする場合に備え、図示されていないHe導入手段により、ウエハ2と静電チャック1との間にHeを10~20 Torrの圧力で封入可能としており、800W/m²・K程度の熱伝達が可能とされている。

【0039】静電チャックホルダ10は、材質をAlNとした絶縁板11と、内部に媒熱流体の流路12Aが形成されたアルミニウムの金属ブロックからなる冷却体12とを主要構成要素として構成され、絶縁板11と冷却体12とはねじ13で結合されている。絶縁板11は本実施例では厚さ20mm、直径200mmとし、1気圧の圧力下で撓み量を0.04mm以下に抑えている。

絶縁板11にはヒータ11Aを内蔵させ、このヒータと静電チャック1の吸着電極1b、1bとの間の間隔を1cm以上として両者間の静電容量を300pF以下に抑えてある。冷却体12の上面はリング14のためのリング溝14Aの内側が全面積にわたり0.1mmの深さに削り込まれ、AlN製の絶縁板11との間に0.1mmの間隙12Bをガス注入空間として形成している。この隙間12Bを形成する冷却体12および絶縁板11の表面精度は30μm以下の精度で加工されている。冷却体12には、さらにAlNからなる絶縁ブロック15がリング16を用いて気密に挿入され、絶縁ブロック15の内部を中空導体17、17がリング18を用いて気密に貫通し、絶縁ブロック15には隙間12Bに連通するガス通路が設けられている。この中空導体17、17はさらに延びて絶縁板11を貫通し、静電チャック1の吸着電極1b、1bに接続されている。なお、リフトピン孔19はウエハを静電チャック1から取り外すための孔であり、この孔の中を図示しないリフトピンがリング20を介して気密に昇降できる。

【0040】静電チャック1と絶縁板11は、シリコーン樹脂等で接着されている。

【0041】ウエハ2の成膜時には、静電チャック1の吸着電極1b、1bの間に直流電源3が接続され、また高周波電源4からコンデンサ5を介して高周波電力が吸着電極1b、1bに並列に供給される。さらに、中空導体17、17の一方には、図示されないポンプから減圧弁を介してゲージ圧0~0.5気圧に調整されたHeが、制御系からの信号で開閉可能な空気操作バルブAV1を介して導入される。導入されたHeは、一方の中空導体17の開口17aから絶縁板11と冷却体12との間の層状の間隙12B内いっばいに広がり、この層状の間隙には一定の圧力のHeが充填する。充填したHeは他方の中空導体の開口17bから、制御系からの信号で開閉可能な空気操作バルブAV2を介して排気することができる。さらに、絶縁板11に内蔵されたヒータ11Aに交流電源から加熱電力が供給され、また冷却体12の媒熱流体流路12Aに温媒体が流通し、ウエハ2の温度は所定の処理温度に上昇する。

【0042】ヒータの電流を切り、成膜が開始され、高密度にプラズマ化された成膜原料ガスがウエハ2の表面近傍に到達すると、このプラズマはウエハ2の表面に形成された負極性電位により加速され、ウエハ2の表面に衝突してウエハ2の温度を上昇させる。上昇時の温度は冷却体12の温媒体の温度より高いので、ウエハ2から冷却体12への熱流が生じる。この熱流は絶縁板11と冷却体12との間の層状の間隙12Bに導入されたHeにより効率よく冷却体12に伝達され、ウエハ2の温度が所定の処理温度に保持される。

【0043】一方、プラズマクリーニング時には、バルブAV1を閉じ、真空ポンプにつながる空気操作バルブ

AV2を開けることで、層状の間隙12Bの圧力を20 Torr以下に減圧し、絶縁板11から冷却体12への熱伝達率を低下させ、その結果、ウエハまわり静電チャック表面の温度を効果的に上昇することができる。

【0044】図1のウエハ保持機構で、吸着電極1b、1bへの印加電圧を大きくし、吸着力を1.6kg/cm²とすると、ウエハ2と静電チャック1間の接触熱伝達を1000W/m²K以上とすることができ、ウエハ2と静電チャック1間にHeを封入しないでも十分な熱伝達が得られ、装置の構成を簡単にすることができる。金属ブロック12内を流通する熱媒体にアウジモント社のフッ素系の不活性液体ガルデン（登録商標）を用い、AlN絶縁板11のヒータ11Aに通電してAlN絶縁板11の温度を140℃に制御し、吸着電極1b、1bに1.6kVの電圧（1000W/m²Kの熱伝達に相当）を印加してウエハを吸着保持したとき、ウエハの温度は20秒後には140℃に達した。

【0045】ヒータ11Aの温度調節に通常の温度調節器を用い、サイリスタ電源で上限電流を制限した上で、PID制御を行った。図2はガス注入空間（He熱伝達層）に流入する熱量のタイムチャートの1例を示し、線Aはヒータからの熱量であり、時間A1はウエハの予備加熱または交換の時間、時間A2は成膜時間である。線Bはプラズマからの熱量である。図2に示すようなタイムチャートに従ってヒータの制御を行ったときの成膜温度特性のシミュレーション結果を図3に示す。図3において、曲線Cはウエハ温度、曲線Dはウエハと静電チャック表面の温度差、曲線Eは静電チャックの上下両面間の温度差、曲線FはAlN絶縁体の上下両面間の温度差である。ただし、成膜条件は、プラズマ投入電力マイクロ波3kWおよびRF3kW、ウエハ吸着力1.6kg/cm²、ヒータ温度150℃である。ガス注入空間12Bにはこの間Heが封入されている。図示されるように、ガス注入空間にHeを満たし、かつウエハを強く吸着することによって、ウエハは成膜開始後、約10秒で飽和温度に達する。

【0046】次に、静電チャックの誘電体にAlNを用い、この誘電体中に吸着電極とヒータとを内蔵させた静電チャックを用いてウエハ保持機構を作製した。このウエハ保持機構の構造は、図1に示した実施例における静電チャックの誘電体がAlNからなり、静電チャックと絶縁板とが一部品化されたもので、その他の構造は図1の実施例と同じである。本実施例では、静電チャックと絶縁板とが同一の部品であり、部品点数が減少するだけでなく、接着剤を使用しないので、接着剤に起因する耐熱性の問題、熱抵抗およびエッチングガスによる腐食性の問題がなくなる、という利点がある。このウエハ保持機構を用いたときの成膜温度特性のシミュレーション結果を図4に示す。成膜条件は図3の場合と同じである。図4において、曲線Gはウエハの温度、曲線Hはウエハ

と静電チャック表面の温度差、曲線IはAlN製静電チャックの両面間の温度差である。成膜開始後ウエハが飽和温度に到達するまでの時間が約6秒であり、図3と比較するとかなり短く、これは静電チャックと絶縁板を共にAlN製として一部品化し、接着剤を使用しない効果である。すなわち、熱伝達率の小さいアルミナ誘電体で替えてAlN誘電体を用い、しかも絶縁板と一体化しているの、図3における曲線Eに相当する部分が加算されないためである。

【0047】次にガス注入空間に注入されるHeの圧力の効果について説明する。図5は、AlN静電チャックとガルデン（金属ブロック内を流通する熱媒体）との間の熱伝達率の、ガス注入空間に封入されるHe圧力に対する依存性を示した図である。He圧力150 Torr以上で熱伝達能力はほぼ一定の47.8 W/Kの値である。一方、He圧力100 Torr以下の低圧側ではHe圧力の減少とともに急激に減少し、10 Torrでは15.5 W/Kの小さな値となる。従って、プラズマクリーニング時にガス注入空間のHe封入圧力を10 Torr以下とすれば、ヒータ電力2.5 kWの熱量の流入で静電チャックを250℃まで加熱することができる。

【0048】上述したAlN誘電体中に吸着電極とヒータを内蔵した静電チャックを金属ブロックに固定したウエハ保持機構を用いて成膜実験を行った。プラズマ生成ガスとしてSiH₄/O₂/Ar:60/104/200、プラズマ投入電力マイクロ波1376W、RF1500W、真空室内圧力1.66mTorr、吸着電極への印加電圧1.6kV、ガス注入空間へのHe封入圧力300 Torrの条件で成膜を行い、成膜開始後の温度上昇を測定した。ヒータには通電せず、ガルデンの出発温度は80℃とした。図6に成膜温度特性を示す。図において、曲線Jはウエハの温度、曲線KはAlN静電チャックの温度、曲線Lはガルデンの温度、曲線Mは静電チャックとガルデンの温度差である。静電チャックの温度はガルデンの温度に対して約5分後に飽和し、その時の温度差は25℃であった。ウエハの温度は成膜開始から約15分後までなだらかに上昇し、そして飽和している。

【0049】次に、SiH₄/O₂/Ar:80/104/200、プラズマ投入電力マイクロ波2.3kW、RF2.5kW、ヒータ140℃で温度制御、その他の条件は図6の場合と同じ条件で2度成膜を行った。ウエハと静電チャックの昇温特性を図7の曲線Nおよび曲線Oで示す。静電チャックは成膜開始直後いったんなだらかに昇温しているが、その温度上昇幅は6℃と小さくよく制御されている。一方、ウエハの温度は成膜開始後1分で、ほぼ飽和して約195℃に保たれている。このことは、ヒータの使用により、ウエハが所定の温度に上昇するまでの時間が著しく改善されたことを示している。図4の計算結果と比べてウエハ温度が飽和するまでの時

間が長くなったようなデータとなっている。これはRF電力印加環境の下で熱電対の使用が不可能であり、例えば、蛍光を利用したファイバ温度センサなど、ウエハと温度センサ間の時定数が1分程度の大きさの温度センサを使用したためである。2度の実験の再現性は高い。さらに、プラズマクリーニング時には、ガス注入空間に封入するHe圧力を10 Torr以下とすることにより、静電チャックの温度を250℃まで加熱することができた。前述したように、プラズマクリーニングの速度は絶対温度の指数関数的に増加するので、静電チャックの温度を250℃まで昇温させることにより、クリーニング速度を著しく高めることができた。

【0050】このように、成膜時にガス注入空間に封入するHeの圧力を高くしてガス注入空間の熱伝達率を上げることと、内蔵ヒータにより絶縁板-金属ブロック-熱媒体の系を予め熱的に飽和させておくことで、ウエハが所定の温度に到達する時間を短縮することができるので、成膜作業の効率が上昇するばかりでなく、ウエハの成膜時の温度を一定に保つことができるので、堆積速度の変動を3%以内に抑えることができ、また膜質の均一な膜を得ることができる。さらに、プラズマクリーニング時には、ガス注入空間に封入するHeの圧力を低くしてガス注入空間の熱伝達率を小さくすることによって、静電チャックから金属ブロックへの熱の流入を妨げ、装置内部でクリーニング速度が最も遅い静電チャックの温度を高く保つことができる。その結果、プラズマクリーニングを高速で行うことができる。

【0051】なお、以上の実施例には示していないが、ウエハ2と冷却体12との間の熱流を大幅に制御可能とするため、絶縁板11と冷却体12との間の間隙を可変とする構造として、圧電素子の適用が可能である。絶縁板11と冷却体12との間に圧電素子を多段に挿入し、各圧電素子の両面の電極を並列に接続して可変電圧直流電源に接続することにより、0.05~0.15mm程度の間隙変化がウエハ保持機構の実用寸法にて可能になる。もちろん、この場合にはねじ13の頭部と冷却体12との間にばねを介装して間隙を可変とする。また、この程度の間隙変化はOリングの締め代以下であり、図1の構造変化は圧電素子挿入部分のみですますことができる。さらに、Heとは別のガス、例えばN₂、O₂、空気、Ar等への切り替え手段を付加すれば、熱伝達効率の制御幅をさらに広げることができる。

【0052】なお、高密度プラズマCVD装置を用いて、ウエハ表面のMOSFETのゲート酸化膜をSiO₂で覆う場合には、ゲート酸化膜の絶縁破壊防止のために、特願平6-308512号に示されているように、成膜中、ウエハの対地（対冷却体12）絶縁抵抗を100MΩ以上に保つ必要があるが、今回用いたAlNの固有抵抗は、150℃で2×10¹²Ωcm、200℃で5×10¹¹Ωcmであり、成膜中の温度近傍では問題なく

この要求を満足する。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、以下に記載する効果が得られる。

【0054】本発明のウエハ保持機構は、静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間を内部に備えているので、このガス注入空間に高熱伝達層を形成することによって、ウエハに大量の熱が流入してもウエハの過熱を防ぐことができる。

【0055】このガス注入空間の熱伝達効率を少なくとも2段階に調節する手段をさらに有するので、ガス注入空間のガス圧の制御により、あるいはガスの種類の制御により、熱伝達率を2段階以上に幅広く、かつ容易に制御できる。

【0056】静電チャックの温度調節のための流体が内部に流通する金属ブロックを有し、ガス注入空間がこの金属ブロックの静電チャック側に位置しているため、ガス注入空間の熱流抵抗をガス圧力、ガスの種類、あるいはガス流の厚みにより大幅に変えることができ、成膜開始後のウエハへのプラズマ入射分の熱を効率よく金属ブロックに伝達することができ、処理温度の時間的変動を小さくした成膜が容易に可能となり、膜質の均一な膜を得ることができる。また、プラズマクリーニング時にはプラズマ入射熱量およびヒータ熱量の金属ブロックへの流出をガス注入空間のガス圧を低下させて効果的に抑えることができるため、ウエハまわりの静電チャック表面を所望の温度に上昇させることができ、クリーニング速度を速めて装置の生産性を向上させることができる。

【0057】層状のガス注入空間の天井面を形成する絶縁板が静電チャックの誘電体とは別体である構造では、ガス注入空間のガス圧力による絶縁板の撓みを制御するための厚みの設定を容易に行うことができ、目的とする熱伝達効率を実質的に不変に保持するための構造が容易になる。

【0058】絶縁板にヒータが内蔵されているので、ガス注入空間はヒータに関して静電チャックと反対側に位置し、ウエハの予備加熱やプラズマクリーニングの高速化のための静電チャックの加熱を効果的に行うことができる。また、成膜開始時点でのヒータ遮断後の静電チャックの冷却も、ガス注入空間の熱伝達効率を切り換えて高くすることにより効果的に行うことができ、成膜開始後のプラズマ入射の下で静電チャックの温度変化を小さく保持することが容易に可能になり、均一な膜質が得られやすくなる。

【0059】絶縁板が静電チャックの誘電体と接着材によって一体化されている構造では、一体化に金具を用いないので、チャックの温度上昇時に無理な力がかからず、静電チャックの誘電体の破損を防止することができる。また、静電チャックと絶縁板との間の熱抵抗が不変となり、接着剤で固定しているので面内均一性が良く、

また低熱抵抗となる。

【0060】絶縁板は、その両面間の絶縁抵抗が、静電チャックホルダの使用温度範囲において100MΩ以上であるので、半導体ウエハの表面に作り込まれたMOSFETのゲート電極をSiO₂層間絶縁膜で覆う際、ゲート酸化膜の絶縁破壊を生じることなく層間絶縁膜の成膜を完了させることができる。絶縁板がAlNからなる静電チャックホルダでは、AlNの耐熱衝撃性が通常の静電チャック誘電体に用いられているAl₂O₃の約4倍と大きく、また熱伝導率がAl₂O₃の2〜20倍あるので、静電チャック誘電体内の吸着電極とヒータとの距離は離れてもガス注入空間の熱抵抗を上げることにより、ヒータの熱を効果的にウエハの方向に向かわせることができる。

【0061】ヒータと静電チャックの誘電体内の吸着電極との間の静電容量が1000pF以下となるように内蔵されているので、吸着電極に供給される高周波電力のうち、ヒータへの分流が小さくなり、高周波電源容量を小さくできるので、装置のコスト上昇を防止することができる。

【0062】静電チャックの誘電体の材質がAlNであり、共にAlNである絶縁体と誘電体とが一体化されている構造では、Al₂O₃とAlNが接着剤で一体化されている構造より信頼性が向上する。

【0063】AlNの体積固有抵抗が静電チャックの使用温度範囲で2×10¹⁰〜1×10¹²Ωcmであるので、成膜中のウエハの対地絶縁を十分なものとすることができる。

【0064】AlNからなる誘電体中に吸着電極と発熱体が埋め込まれている静電チャックとこの静電チャックを固定する金属ブロックとの間に、静電チャックのウエハ保持面に平行な層状の隙間として成るガス注入空間が形成されている構造ではウエハ保持機構の構造が簡素化され、かつ接着層がないので信頼性が高い。

【0065】上述したウエハ保持機構の使用方法では、ガス注入空間のガス圧力を変化させることによって、ガス注入空間の熱伝達効率を制御するので、装置の構成が簡単であり、かつ熱伝達効率を容易に変化させることができる。

【0066】ガス注入空間のガス圧力を1500Torr以下の範囲のガス圧力で変化させるので、ガス注入空間の厚みの変動が小さい。

【0067】ガス注入空間に注入するガスがHeであるので熱伝達率が大きく、かつ安全である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるウエハ保持機構の一実施例を示すもので、(a)は縦断面図、(b)は上面図である。

【図2】本発明のウエハ保持機構の熱流入の一例を示すタイミングチャートである。

【図3】本発明のウエハ保持機構の一実施例の成膜時の

17

温度特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図4】本発明のウエハ保持機構の他の実施例の成膜時の温度特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図5】ガス注入空間のHeガス圧力と熱伝達率の関係を示す図である。

【図6】静電チャックをAlN一体形とした本発明のウエハ保持機構において、ヒータ加熱を用いないときの成膜時の温度特性を示す図である。

【図7】静電チャックをAlN一体形とした本発明のウエハ保持機構において、ヒータ加熱を用いたときの成膜時の温度特性を示す図である。

【図8】従来の静電チャック構造の第1の例を示す縦断面図である。

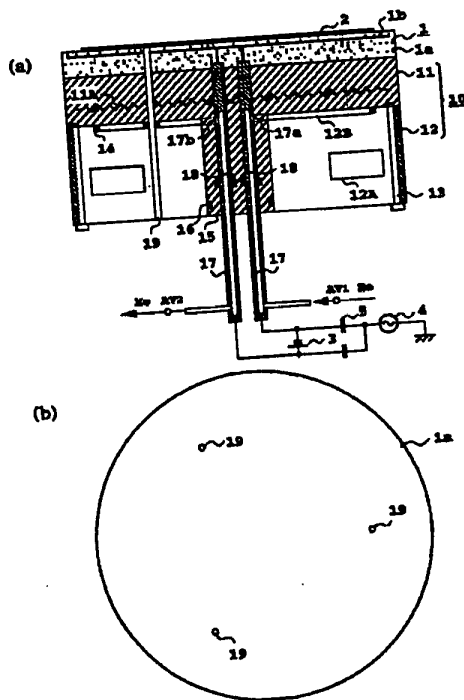
【図9】従来の静電チャック構造の第2の例を示す縦断面図である。

【符号の説明】

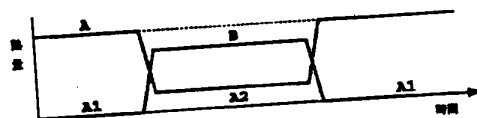
- 1 静電チャック
- 1 a 誘電体
- 1 b 吸着電極
- 2 ウエハ

- 10 静電チャックホルダ
- 11 絶縁板
- 11 A ヒータ
- 11 B 層状のガス注入空間
- 12 金属ブロック (冷却体)
- 21 静電チャックホルダ
- 22 金属ブロック
- 23 ヒータ
- 23 A 発熱体
- 24 静電チャック
- 24 A 誘電体
- 24 B 吸着電極
- 25 ウエハ
- 31 静電チャックホルダ
- 32 金属ブロック
- 33 静電チャック
- 33 A 誘電体
- 33 B 吸着電極
- 34 発熱体
- 20 35 ウエハ

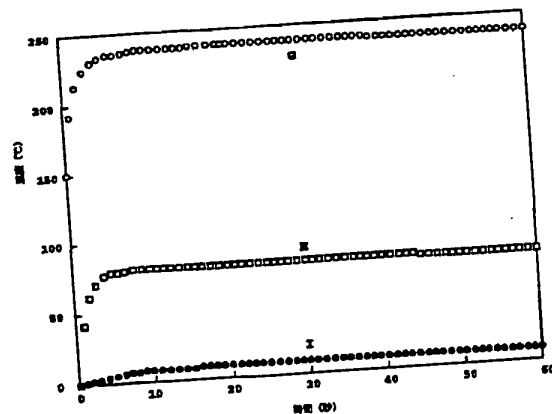
【図1】



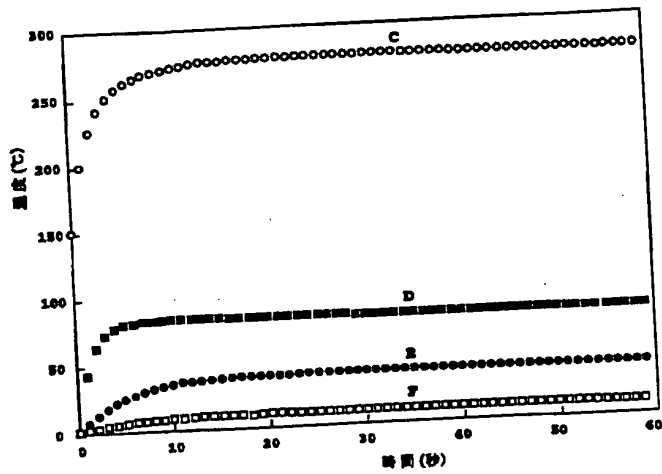
【図2】



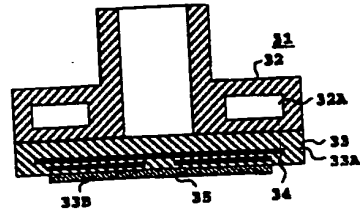
【図4】



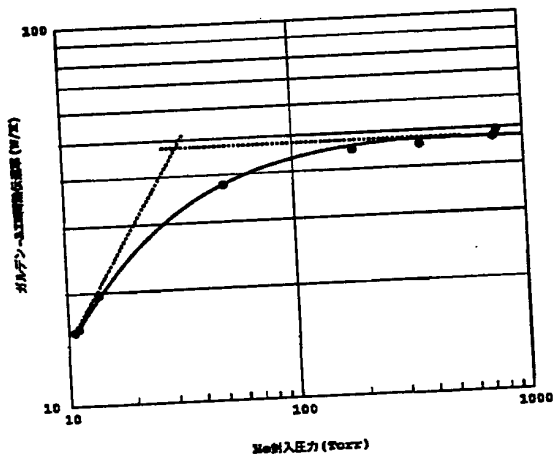
【図3】



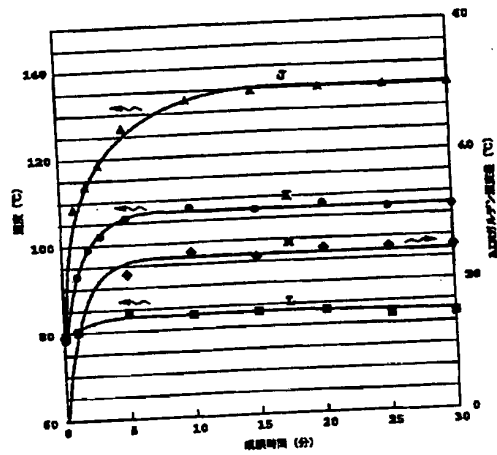
【図9】



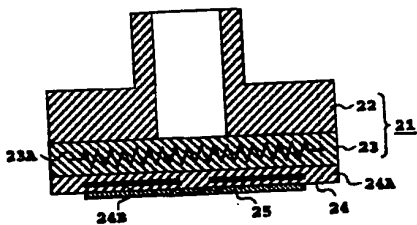
【図5】



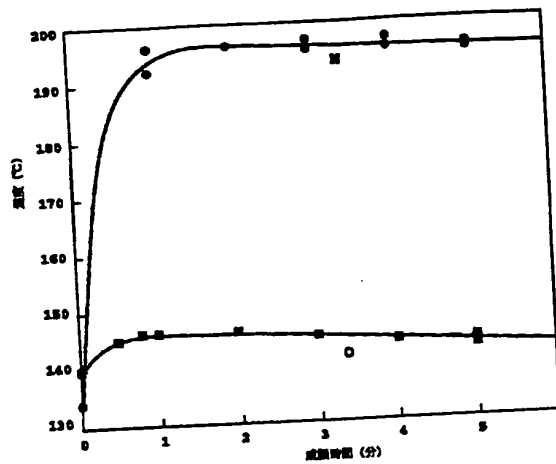
【図6】



【図8】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 0 1 L 21/285

21/31

H 0 2 N 13/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/285

21/31

H 0 2 N 13/00

技術表示箇所

C

C

D

(72) 発明者 榊原 康史

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
富士電機株式会社内

(72) 発明者 片桐 源一

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
富士電機株式会社内

(72) 発明者 川村 剛平

神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41号
東京エレクトロン東北株式会社相模事業所内